

유체동압베어링의 Herringbone Pattern 전사성 향상에 관한 비교 연구

A Comparative Study on the Improvement of Herringbone Pattern Replicability in Fluid Dynamic Bearing

*오솔길¹, #이혜진¹, 이낙규¹, 김종호², 송정한¹, 신준희³

*S. K. Oh¹, #H. J. Lee(nal1@kitech.re.kr)¹, N.K.Lee¹, J.H.Kim², J.H.Song¹, J.H.Shin³

¹ 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부, ²국립서울산업대학교 금형설계학과, ³SPACE Solution 기술연구소

Key words : FDB, Thrust pattern, Desktop forming system

1. 서론

산업의 발달에 따른 각종기기 장치들의 고속화, 소형화, 정밀화로 인해 고속, 고정밀 스피너들의 필요성은 점점 커지고 있다. 지금까지의 소형 회전기들은 주로 볼베어링을 이용하여 스피너들을 지지해왔으나, 이 경우 볼베어링의 결함에 따라 필수적으로 생기는 스피너들의 런아웃(runout)은 운전정밀도를 나쁘게 하므로 고정밀도를 요구하는 소형 회전기에 적용시 문제가 된다.

볼베어링에 대한 대안으로 제시되어 현재 많은 회전 기기에서 사용되고 있는 유체동압베어링은 두 윤환면이 기름으로 된 윤환막에 의해 분리되어 있으므로 높은 운전정밀도를 가지고 있다.

축방향의 하중을 지지할 수 있는 스러스트 베어링은 평판에 여러 가지 형상의 그루브를 내어 동압을 발생시키게 된다. 그러나 볼베어링에 비해 상대적으로 낮은 부하지능과 강성, 감쇠 특성 때문에 크기가 매우 작은 윤환막이 필요하여 베어링의 형상에 대한 정확한 설계와 가공이 요구된다.

본 논문은 스러스트 베어링에 적용된 헤링본 패턴성형공정에 대한 유한요소 해석을 수행하였고, 이에 따른 최적 성형공정을 찾기 위해 실험과 비교분석하였다.

2. 대상모델

미세 부품을 성형하기 위해서는 패턴형상의 전사율이 중요한 요인으로 작용한다. 실제로 많은 부품들끼리 조립되어 하나의 구동을 위해서는 각 부품 간에 허용공차와 누적공차를 생각하여 설계를 하여야 한다. 이러한 설계단계에 있어서 시행착오 및 개발시간, 비용의 감소를 위하여 일반적으로 유한요소 해석을 수행하여 공정변수를 분석하는 방법이 주로 사용된다. 본 연구에서는 헤링본 패턴의 성형 전사율, 성형 하중을 분석하였다.

Fig 1은 유체동압베어링의 헤링본 동압 패턴 형상을 나타내고 있다. Fig 1(a)에 도시한 헤링본 패턴은 (b)와 같이 내경 7.89mm, 외경 3.96mm를 갖는 원통형의 소결소재를 대상으로 수행하였다. 패턴의 폭은 200 μ m, 깊이는 15 μ m를 갖는 형상으로 유한요소 해석을 수행하여 성형가능성 여부와 성형하중과 같은 공정변수의 영향을 해석적으로 평가하였다.

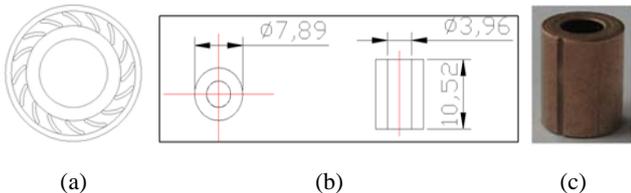


Fig 1 Shape of material

2-1. 유한요소 해석조건

유한요소 해석은 기하학적 대칭성을 고려 하여 1/4모델로 해석을 수행하였다. 금형은 강체로 가정하고, 대상소재는 237,391개의 사면체(Tetrahedral) 요소로 모델링 한 후에 상용 소프트웨어인 Deform3D를 사용하여 수행하였다. Table 1은 유한요소 해석조건을 나타내고 있다.

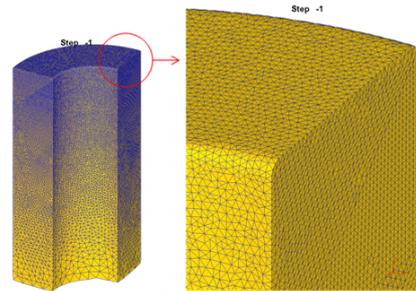


Fig 2 Variable meshing for FEM

Table 1 FEM conditions

Top die move	Speed : 1 mm/sec
Step	100
Die displacement	0.005
Total disp. control	0.5mm
Mesh type	Tetrahedral
Nodes	53,246
Elements	237,391

2-2. 대상소재의 물성실험

본 연구에서는 실제 동압베어링에 사용되는 Table 2의 구성비를 갖는 소결소재에 대하여 물성시험을 수행하여 이를 해석에 적용하였다.

Table 2 Component ratio of material

Component element	Component ratio
Cu	65 %
Fe	30 %
Sn etc.	5 %

대상소재의 물성시험은 MTS사의 Universal Testing Machine을 사용하여 0.01mm/s크로스헤드 속도로 압축시험을 수행하였다.

압축시험으로 얻은 응력 변형률 선도를 유한요소 해석에 적용하기 위해서는 특정구성방정식으로 근사하여 사용하여야 한다.

본 연구에서는 대표적인 응력-변형률 구성방정식인 $\sigma = A\epsilon^n$ 의 형태를 갖는 Hollomon 식으로 근사하였으며, 이때 대상소재의 A, n 값은 각각 517.398MPa, 0.298이다.

3. 유한요소해석과 실험결과와의 비교

3.1 유한요소 해석결과

본 연구에서는 유한요소 해석을 통하여 하중-스트로크, 패턴의 전사깊이, 형상변화 등을 분석하였다.

Fig 3은 성형 해석이 진행됨에 따른 시편의 변형형상 및 Maximum principle stress를 스텝별로 도시하였다. 시편 크기에 비하여 상대적으로 작은 패턴 성형결과를 모사하기 위하여 성형부 주변에서는 조밀한 격자를 사용하도, 비변형부는 조대한 격자로 자동 변환 격자재구성(remesh)작업을 동시에 수행하며 해석이 진행됨을 살펴볼 수 있다.

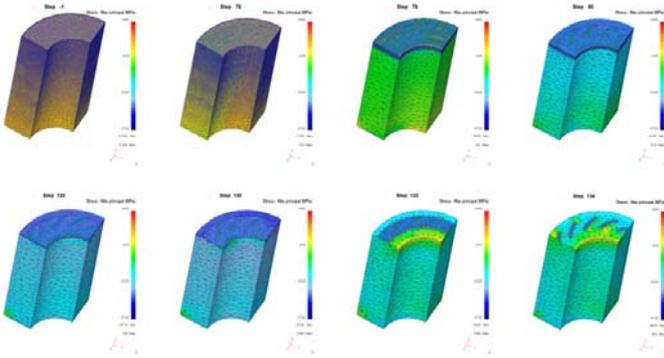


Fig 3. Maximum principle stress

성형해석이 진행됨에 따른 금형 스트로크와 하중의 변화는 0.7mm일 때 하중이 2,274Kgf(2.2kN)이며, 이때 패턴은 15 μ m깊이까지 성형이 되며 스트로크가 0.7~0.8mm 이상에서는 하중이 기하급수적으로 증가하는데 이는 스트로크가 0.7~0.8mm 부근에서 소재의 측면부가 금형의 측벽부와 접촉이 일어나기 때문이다.

성형하중의 변화에 따른 성형 후 헤링본 패턴의 깊이 변화를 Fig 4에 도시하였다. 금형패턴깊이가 15 μ m인 경우에 약 1,500Kgf 이상의 하중을 부가하는 경우에 원하는 패턴깊이를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

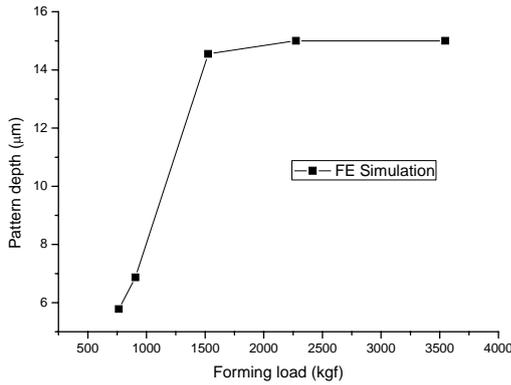


Fig 4 Pattern depth-forming load curve(FEM)

3.2 유한요소해석과 실험결과 비교

실험은 Load cell이 장착된 정하중 금형으로 Table 3와 같은 하중조건으로 실험을 실시하였다.

Table 3 Experiment conditions

Forming force (Kgf)							
800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500

성형 하중의 변화에 따른 헤링본 패턴의 전사깊이 변화는 FEM과 실험을 통해 Fig 5와 같은 결과를 나타내었다. 대상금형 패턴깊이가 15 μ m이고 약 1,500Kgf 이상의 하중을 부가하면 원하는 패턴깊이를 얻을 수 있음을 확인 하였다. 실험에 필요한 패턴깊이의 적정하중 범위는 해석을 통해 선정하였고 완전한 성형이 이루어지기 위해서는 곡률구간까지 완벽하게 성형이 되어야 하지만 이는 매우 큰 하중이 요구된다. 대상성형성 평가요인으로 패턴 형상의 높이 정확도가 중요한 요인이 아니라면 약 1,500Kgf 내외의 하중만으로도 원하는 깊이 성형이 가능함을 성형실험과 해석결과를 통해 확인하였다.

이로써 Fig 6의 결과에서 보듯이 성형조건 설정 후 하중조건에 맞는 실험과 이와 같은 조건을 기준으로 해석을 수행한 결과가 유사한 양상을 나타냈다.

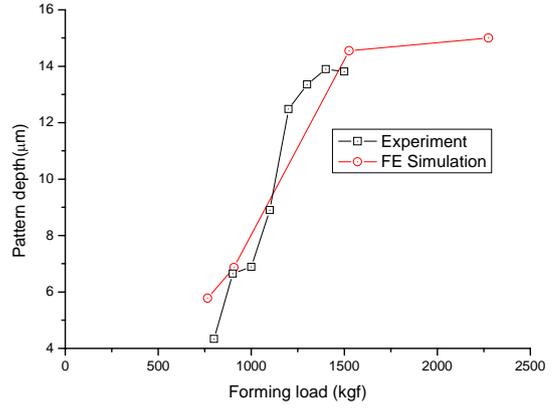


Fig 5 Results of pattern depth of experiment and FEM

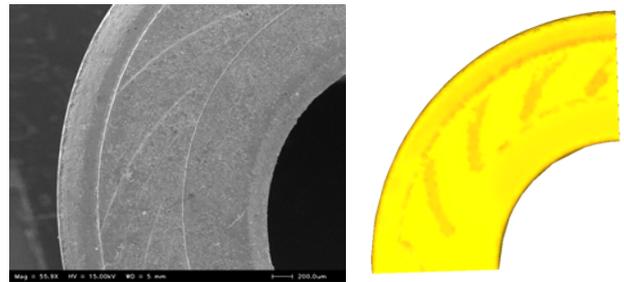


Fig 6 Results of experiment and FEM

4. 결론

성형 하중의 변화에 따른 헤링본 패턴의 깊이변화와 대상소재의 높이변화에 대한 성형 실험과 해석결과를 비교하면 성형 벽면 마찰을 제외한 전체적인 성형 Profile이 유사함을 확인하여 추후 공정 최적화를 위한 시간적, 비용적 최소화 효과를 거둘 수 있음을 확인하였다.

결과를 종합하면 폭 200 μ m, 깊이 15 μ m를 갖는 유체동압베어링의 헤링본 형상 성형시험을 수행하는 경우에 본 연구목표에 해당하는 성형정도를 얻을 수 있음을 살펴보았다.

후기

본 연구는 기획재정부가 지원하고 있는 “Direct Writing 기법을 이용한 미소부품 제조기술 개발”의 세부과제로서 수행한 연구결과이며 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

- Hong, J. H., 2004, “Technical Trends of Intelligent Microfactory for Next Generation,” Journal of Research Institute of Industrial Technology, Vol.19, No. 1, pp. 39~51.
- Lee, H. J., Lee, N. K. and Choi, S. G., 2007, “Development of Miniaturized Micro Metal Forming Manufacturing System,” Materials Science Forum, Vol. 544-545, pp. 223~226.
- Lee, H. J., Lee, N. K., Lee, S. M., Lee, G. A. and Kim, S. S., 2006, “Development of Micro Metal Forming Manufacturing System,” Materials Science Forum, Vol. 505-507, pp. 19~24.
- Lee, N. K., Choi, T. H., Lee, H. J., Choi, S. G., Park, H. J. and La, W. K., 2005, “Development of Micro Metal Forming Manufacturing System,” Proceedings of the KSMTE Spring Conference, pp. 383~388.